Aus dem Physiologischen Institut der Freien Universität Berlin
und
der Orthopädischen Klinik und Poliklinik
der Freien Universität Berlin im Oskar-Helene-Heim

unter Anleitung von Professor Dr. H. Stoboy

Der Einfluss der Motivation auf maximale statische Kontraktionen und das Verhalten einiger kardio-pulmonaler Parameter.

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin
vorgelegt von

L o t h a r R ö c k e r
aus Berlin

1970

Aus dem Physiologischen Institut der Freien Universität Berlin
und
der Orthopädischen Klinik und Poliklinik
der Freien Universität Berlin im Oskar-Helene-Heim

unter Anleitung von Professor Dr. H. Stoboy

Der Einfluss der Motivation auf maximale statische Kontraktionen und das Verhalten einiger kardio-pulmonaler Parameter.

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin
vorgelegt von

L o t h a r R ö c k e r
aus Berlin

Dekan: Professor Dr. med. Herbert L a x

Referent: Professor Dr. med. Hans S t o b o y

Korreferent: Professor Dr. med. Günter F r i e d e b o l d

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Freien Universität Berlin.

Promoviert am: 7. Januar 1970

Inhaltsverzeichnis

	Seite
A) Einleitung	1
B) Methodik	5
C) Auswertung	9
D) Ergebnisse	11
E) Besprechung der Ergebnisse	18
F) Zusammenfassung	23
G) Literaturverzeichnis	24

(A) Einleitung und Problemstellung.

Durch die Anwendung des progressiven isometrischen Muskeltrainings zum Zwecke der Rehabilitation atrophischer Muskulatur in der Klinik (1, 2, 3, 4), das wie keine andere Methode zu einem Kraftzuwachs und zur Hypertrophie der Skelettmuskelfasern führt (5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12), ist die Messung der Muskelkraft, der maximalen statischen Ausdauer und der Beziehung zwischen diesen beiden Grössen mit unterschiedlichen Ergebnissen untersucht worden (13, 14, 15). Die genannten Grössen spielen bei der sozialmedizinischen Begutachtung zur Feststellung noch möglicher statischer Arbeitsanteile eine grosse Rolle. Häufig wird dabei der Begriff der absoluten Muskelkraft verwendet. Diese Bezeichnung ist insofern irreführend, als sie sich streng genommen auf die grösstmögliche Kraftentwicklung bei synchroner Innervation aller motorischer Einheiten bezieht. Sie kann also nur dann gemessen werden, wenn durch supramaximale elektrische Reizung alle Muskelfasern eines Muskels gleichzeitig zur Kontraktion gezwungen werden. Da man diesen Begriff auf die vom Muskel entwickelte Kraft pro cm^2 physiologischen Querschnittes bezieht, ist er beim Menschen zumindest bei gefiederten Muskeln ohnehin nicht anzuwenden. Bei einer Willkürkontraktion werden dagegen niemals alle motorischen Einheiten, auch bei maximaler Kontraktion, synchron erregt. Infolgedessen ist beim menschlichen Muskel in situ nur die maximale Muskelkraft messbar. Diese ist aber in ihrer Grösse sehr stark von dem Willen eines Probanden oder Patienten zur Mitarbeit abhängig. Die maximale Kraft eines Muskels bei willkürlicher Innervation wird also in weitem Ausmaß von der Motivation der Probanden zur maximalen Innervation abhängig sein. Der Motivationsgrad ist aus diesem Grund eine der wichtigsten Determinanten für die Grösse der maximalen Muskelkraft (16, 17).
Die statische Ausdauer wird hingegen nicht nur von der Motivation des Probanden, sondern auch von der Durchblutungsgrösse während der Kontraktion bzw. von der Menge der anaerob nutzbaren Energiereserven abhängen.

Mit thermoelektrischer Messung der Wadentemperatur konnte nachgewiesen werden (18), dass bereits bei 20 % der maximalen Kraft die Durchblutung bei isometrischer Kontraktion gegenüber dem Ausgangswert nicht mehr ansteigt, während bei isometrischer Kontraktion im Bereich von 5 bis 10 % der maximalen Kraft noch eine Durchblutungszunahme gemessen werden konnte. Plethysmographischen und anderen Messungen zufolge wurde angenommen, dass die Durchblutung mit grösser werdender Kraft (> 20 %) noch minimal zunimmt (19, 20, 21), insgesamt gesehen jedoch stark beeinträchtigt wird. Histologisch zeigt sich an schnellgefrorenen und elektrisch gereizten Rattenmuskeln bei isometrischer Anordnung kein Hinweis für eine mechanische Kompression und Durchblutungsunterbrechnug der Mikrozirkulatio während grössere Arterien und Venen im Eintritts- bzw. Austrit bereich der Muskulatur bei Angiographie teilweise deutliche Kompressionszeichen aufwiesen (22). Im Tierversuch an Hunden ergab sich im Bereich von 0 bis 40 % der absoluten Muskelkraft keine signifikante Herabsetzung der Durchblutung. Bei grössere Kraft war die Muskeldurchblutung dagegen deutlich eingeschränk durch Kompressionen grösserer Arterien und Venen im Eintritts- bzw. Austrittsbereich der Muskulatur, wie angiographisch nachgewiesen werden konnte (23). Wurde die Muskeldurchblutung (X_e-Clearance-Technik) mit dem intramuskulären Druck bei isome trischer Kontraktion verglichen, so konnte festgestellt werden dass die bei niedrigen Drücken erhöhte Durchblutung nahezu unterbrochen wurde, wenn der intramuskuläre Druck 70 % der maximalen Kraft, d.h. den diastolischen Blutdruck, erreichte (

Die genannten Untersuchungen weisen darauf hin, dass von einer bestimmten Kraft ab die Muskeldurchblutung vermindert wird. Deshalb muss der Muskel bei isometrischen Kontraktionen, die mit grösserer Kraft durchgeführt werden, seinen Energiebedarf zumindest partiell aus den anaeroben Energiereserven decken. Diese Tatsache führt, zusammen mit einer Anhäufung von Metaboliten, insbesondere der Milchsäure, zu einer raschen Ermüdung bzw. sogar zur Erschöpfung (25). Als weiterer begrenzender Faktor für die statische Ausdauer wird die zentrale Ermüdung verantwortlich gemacht, da nach subjektiver Erschöpfung

durchaus noch Kontraktionen durch elektrische Reizung ausgelöst werden konnten (26). In letzter Zeit wird auch die Möglichkeit diskutiert, dass Impulse von Chemoreceptoren in die Hirnrinde gelangen, wo die Muskelermüdung bewusst wird und sich bis zum Schmerz steigern kann (25, 27, 28). Hierdurch soll eine Hemmung der motorischen Efferenz erfolgen, die eine weitere Aufrechterhaltung der Kontraktionen unmöglich macht (25). Offensichtlich ist es möglich, die zentral hemmenden Einflüsse durch Vorgänge zu überspielen, die als Motivation bezeichnet werden. Während statischer Kontraktionen mit einer maximalen Ausdauer von 30 Minuten wurde vom Versuchsleiter unmittelbar vor Beendigung dieser Zeit, d.h. unmittelbar vor der subjektiven Erschöpfung, ein Pistolenschuss abgefeuert. Als Ergebnis kam es zu einem signifikanten Kraftanstieg (29). Daraus wurde geschlossen, dass es durch psychische Einflüsse möglich ist, zentrale Hemmungen, die die Kraft der Willkürkontraktion begrenzen, zu beseitigen. Diese Ansicht konnte durch Hypnoseexperimente bestätigt werden, in denen den Probanden die Möglichkeit grosser Kraftentfaltung suggeriert wurde (29, 30). Selbst posthypnotische Kraftmessungen führten nach entsprechendem Auftrag zu einer signifikanten Kraftzunahme (29, 30). Eine Blutentnahme von ca. 400 ml führte bei einer Gruppe von Probanden zu einer deutlichen Abnahme der Leistung. Bei einer Kontrollgruppe führte eine scheinbare Blutentnahme zu einer gleich grossen Leistungsabnahme, die in einem Laufbandversuch gemessen wurde (31). Schon die Anwesenheit einiger Beobachter konnte eine Leistungssteigerung bewirken (32, 33). In Versuchen mit progressivem isometrischen Training konnte beobachtet werden, dass ein Training unter kompetitiven Bedingungen zu einer erheblich grösseren Kraftsteigerung führte als unter reinen Laborbedingungen im Einzelversuch (16). In der sozialmedizinischen Begutachtung spielt nun aber die Beurteilung der noch möglichen statischen Anteile innerhalb eines Arbeitsprozesses eine wesentliche Rolle. Wenn ein medizinischer Gutachter Aussagen über die Grösse noch ausführbarer statischer Arbeitsanteile machen soll, so muss er auf vergleichbare Normwerte zurückgreifen können, wie sie z.B. von HETTINGER

(34) angegeben worden sind. Da man bei gutachtlichen Untersuchungen nicht immer davon ausgehen kann, dass der Untersuchte den Willen zur Mitarbeit bei einer Kraftmessung hat, ist es bereits fraglich, so gewonnene Messwerte mit solchen unter Motivationsbedingungen zu vergleichen. Anders als bei ergometrischen Untersuchungen fehlen bei Kraftmessungen jegliche Kriterien, die darauf hinweisen, dass der Proband sich maximal angestrengt hat, wie z. B. die Höhe der Herzfrequenz, die Grösse der Sauerstoffaufnahme, das Verhalten des RQ etc. (35, 36, 37, 38, 39, 40). Es sind lediglich Messungen des Sauerstoffverbrauchs und der Sauerstoffschuld bei Kontraktionen mit ca. 30 % der maximalen Kraft (41) und Messungen der Herzfrequenz und der Sauerstoffaufnahme bei maximaler Kontraktion der Unterarmstrecker durchgeführt worden (42), die sich allerdings nur auf eine Kontraktionszeit von 10 Sekunden bezogen und nicht bis zur Erschöpfung durchgeführt wurden. ROHMERT hat nun versucht (43), aus anderen Kriterien, wie z.B. der statischen Ausdauer, Rückschlüsse auf die Muskelkraft zu ziehen. So soll nach seinen Untersuchungen die maximale Kraft eines Muskels bis zur Erschöpfung nur 6 bis 8 Sekunden aufrechterhalten werden können, d.h. bei längerer statischer Ausdauer beträge die Kraft nur noch einen bestimmten Bruchteil der Maximalkraft. Bruchteile der Maximalkraft, die als "relative Haltekräfte" bezeichnet werden, sollen danach alle über eine gleich grosse statische Ausdauer verfügen, die unabhängig von der untersuchten Muskelgruppe sein soll. Unter der Bedingung, dass die maximale Muskelkraft durch den Motivationsgrad wesentlich beeinflusst werden kann (29, 30, 31, 32, 33, 41), muss es als fraglich erscheinen, ob dann aus der Haltezeit auf die "relative Haltekraft" mit einigermaßen genügender Genauigkeit geschlossen werden darf. Aus den angeführten Gründen sollte in der vorliegenden Arbeit untersucht werden:

1. wie gross die Änderungen der maximalen Muskelkraft durch eine bestimmte Motivation ist und ob aus beliebigen Messungen der "Maximalkraft" im Vergleich mit "Normwerten" auf eine

graduelle Minderung der Muskelkraft mit genügender Sicherheit geschlossen werden kann;

2. wie gross die interindividuelle Schwankung der statischen Ausdauer bei maximaler Kraft in Abhängigkeit vom Motivationsgrad ist;

3. ob sich aus dem Verhalten der Herzfrequenz, der O_2-Aufnahme, des RQ und anderer Parameter Hinweise dafür ergeben, ob die Aufforderung, eine maximale Kontraktion auszuführen, wirklich befolgt wird;

4. wie gross die Sauerstoffaufnahme einschliesslich der Sauerstoffschuld und damit die Energieausgabe für maximale statische Kontraktionen ist;

5. ob sich aus der Berechnung der Energieausgabe Vergleichswerte zu dynamischen Arbeitsweisen ergeben.

(B) Methodik

Als Versuchspersonen dienten 28 gesunde männliche Studenten im Alter von 18 bis 30 Jahren. Die Probanden waren nicht nach bestimmter Grösse, bestimmtem Gewicht oder Trainingszustand selektiert. Die Versuchspersonen wurden mit Hilfe von Ledergurten an einem selbst konstruierten Stuhl fixiert (Abb. 1). Unmittelbar proximal vom Malleolus lateralis und medialis des re. Beines wurde eine 9 cm breite Lederschlaufe fest um das Bein geschnallt. Die Kette wurde mit einer Ring-Kraftuhr von 3 mm Stärke, 6 mm Durchmesser und 35 mm Höhe (Firma Dipl.-Ing. D. Tiedemann, München) verbunden. Die Kettenlänge war individuell einstellbar, so dass bei allen Versuchen der Kniegelenkswinkel 90° betrug.
Die Versuche setzten sich jeweils zusammen aus

1. einer Ruhepause (15 Minuten),

2. einer Kontraktionsphase, in der die Versuchsperson aufgefordert wurde, den Unterschenkel mit maximaler Kraft bis zur Erschöpfung zu strecken,

3. einer Erholungsphase (15 Minuten).

Da eine Versuchsperson mehrere Versuche durchzuführen hatte, wurden die Messungen bei ein und derselben Versuchsperson immer zur gleichen Tageszeit durchgeführt. Die Temperatur schwankte in den Versuchsräumen zwischen 21 und 23° C.
Während der Ruhe- und Erholungsphase wurden fortlaufend folgende Grössen mit dem Elfomed (Electronics for Medicine) - Modell DR 8 - registriert:

1. O_2 Exsp. (Vol.-%)
2. CO_2 Exsp. (Vol.-%)
3. Herzfrequenz (EKG)
4. Insp. Atemgrössen ($\dot{V}_i$, V, f)

Zusätzlich wurden während der Kontraktionsphase folgende Grössen registriert:

5. Oberflächen-Elektromyogramm vom Quadriceps femoris mit simultaner Integration
6. Kraft

Der erste Versuch wurde bei jeder Versuchsperson unmotiviert durchgeführt, d.h. die Versuchsperson sollte ohne äusseren Ansporn eine maximale Kontraktion durchführen. Deshalb wurde beim ersten Versuch auch die Sichtröhre des Elfomed ausgeschaltet, damit die Versuchsperson keine Möglichkeit hatte, anhand der Kraftkurve die Grösse der Kontraktionskraft abzuschätzen. Es erfolgte nur die photographische Registrierung der Meßwerte.

Bei dem zweiten Versuch wurden die Versuchspersonen motiviert, indem die Sichtröhre des Elfomed eingeschaltet wurde und der Versuchsperson für die beim ersten Versuch erreichte Kraft ein Wert mitgeteilt wurde, der doppelt so hoch lag, wie der beim ersten Versuch tatsächlich erreichte. Ausserdem wurden Vergleichswerte über die Kraft von weiblichen Versuchspersonen stark übertrieben angegeben (1). Während des zweiten Versuches waren jeweils mehrere Freunde anwesend, die die Versuchsperson akustisch anfeuerten.

BLOCKSCHALTBILD

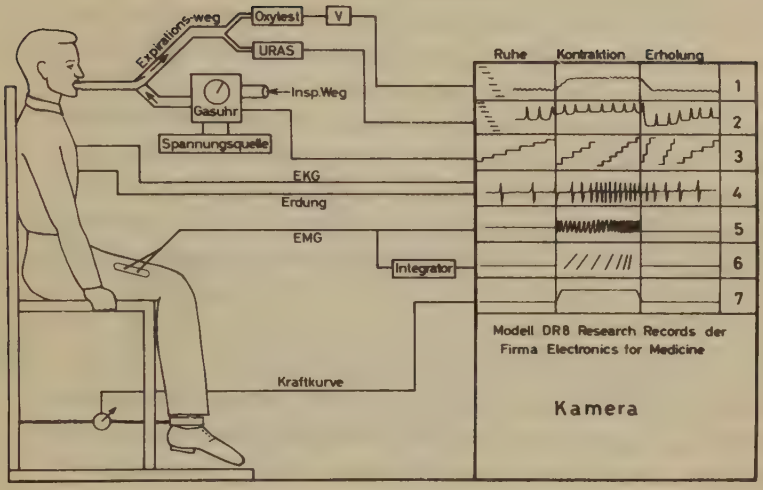

Abb. 1: Blockschaltbild
Auf der Abbildung ist das Verfahren der Registrierung der Meßwerte schematisiert wiedergegeben.

ad 1.

Alle Respirationsmessungen wurden im offenen System durchgeführt. Zur kontinuierlichen Analyse der O_2-Konzentration in der Exspirationsluft benutzten wir den Oxytest von Hartmann und Braun. Sein Meßprinzip beruht auf den paramagnetischen Eigenschaften des O_2. Aus dem Exspirationsweg (5 cm vor Zahnreihe) wurden mittels einer Pumpe, deren Pumpvolumen immer auf einen konstanten Wert eingestellt wurde, über einen dünnen Schlauch kontinuierlich Proben angesaugt und der Meßkammer zugeführt. Über einen Vorverstärker wurde der Oxytest mit einem DC-Verstärker (Gleichspannungsverstärker) des Elfomed verbunden (Blockschaltbild, Kanal 1).

ad 2.

Der CO_2-Gehalt der Exspirationsluft wurde mit dem URAS (Ultra-Rot-Absorptions-Schreiber) von Hartmann und Braun gemessen. Dabei wird Ultrarotstrahlung von CO_2 partiell absorbiert. Daraus ergibt sich eine Energiedifferenz zu einer CO_2-freien Vergleichsmeßkammer, die zu einer proportionalen Änderung der Kapazität eines Membrankondensators führt. In derselben Weise - wie oben für den Oxytest beschrieben - wurden vom URAS Proben der Exspirationsluft kontinuierlich abgesaugt. Der URAS wurde direkt an einen DC-Verstärker des Elfomed angeschlossen.(Blockschaltbild, Kanal 2).

ad 3.

Um die Herzfrequenz zu registrieren, wurde das EKG über eine Hautelektrode, die über dem Herzen mit Leukoplaststreifen fixiert war, gegen eine entfernt liegende Massenelektrode abgeleitet. Dazu wurde ein EKG-Kanal des Elfomed (siehe Blockschaltbild Kanal 4) benutzt.

ad 4.

Zur Messung des inspirierten Luftvolumens wurde eine trockene Gasuhr (1 Umdrehung = 10 Liter) in den Inspirationsweg eingeschaltet. Der Zeiger der Gasuhr griff von einem um die Skala gelegten Widerstandsdraht eine bestimmte Strecke ab. Das System stellte also ein Potentiometer dar. Dieses wurde von einer Gleichspannungsquelle mit 1 Volt gespeist. Da die Zeigerbewegungen nur bei Inspiration stattfanden,waren somit V_i, V und f direkt gegeben. Die Registrierung erfolgte über einen DC-Verstärker des Elfomed. Nach einer Gasuhrumdrehung sprang der Elektronenstrahl auf Null zurück, so dass eine volle Auslenkung über den ganzen Bildschirm 10 Litern entsprach (siehe Blockschaltbild Kanal 3).

ad 5.

Am Übergang vom kaudalen zum mittleren Drittel des re. Quadriceps femoris wurde mit Oberflächenelektroden das EMG abgeleitet.

Durch einen EMG-Verstärker des Elfomed wurden die Muskelpotentiale verstärkt. Ein in den Verstärker eingebauter Integrator integrierte simultan die Fläche des EMG (siehe Blockschaltbild Kanal 5 und 6).

ad 6.

Zur kontinuierlichen Messung der Kraft wurde zwischen Kette und Rückwand des Stuhles ein 3 mm dicker Stahlring von 6 cm Durchmesser und 3,5 cm Höhe mit 4 aufgeklebten Dehnungsmeßstreifen eingeschaltet. Diese Dehnungsmeßstreifen sind Teil einer Wheatstone'schen Brücke, die ihren Widerstand proportional mit den Verformungen des Stahlringes ändert. Die Wheatstonesche Brücke wurde auf einen Druckverstärkerkanal des Elfomed aufgeschaltet (Trägerfrequenzspannung = 3000 Hz).
(Siehe Blockschaltbild, Kanal 7)

(C) Auswertung.

A. Kraft.

Aus der Kraftkurve, die geringfügige Schwankungen der jeweiligen Kraft aufweist, wurde die mittlere Kraft für jeden Versuch wie folgt ermittelt: Die gesamte von der Kraftkurve umschriebene Fläche wurde planimetriert (cm^2) und durch die Strecke (cm) vom Beginn bis zum Ende der Kraftkurve dividiert. Aus einer Eichkurve, die die lineare Beziehung zwischen der Kraft (10 - 60 kp) und Ablenkung des Elektronenstrahls in cm wiedergab, konnte somit die jeweils gemittelte Kraft genommen werden.

B. EMG (Elektromyogramm).

Der Tangens-Alpha der Integrationslinie änderte sich proportional mit der Kraft der Muskelkontraktion. Daraus ergab sich ein mehr oder weniger steiler Anstieg der Integrationslinie. Die mittlere Steilheit der elektrischen Aktivität während einer Messung wurde in cm/sec, also als arbitäre Einheit angegeben.

C. Exspiratorischer O_2-Gehalt (Vol.-%)

Vor jedem Versuch wurde eine Eichung zwischen 21 Vol.-% und 14 Vol.-% in Schritten von 1 Vol.-% durchgeführt. Der exspiratorische O_2-Gehalt wurde in der Ruheminute , der Kontraktionsphase und der ersten Erholungsminute für jeden einzelnen Atemzug gemessen und daraus der Mittelwert berechnet. In den folgenden Erholungsminuten wurde der mittlere O_2-Gehalt aus dem höchsten, niedrigsten und dem mittleren Wert berechnet. Die Latenzzeit des Oxytest zusammen mit den Schlauchverbindungen betrug zu Versuchsbeginn, d.h. bei Einschaltung des Gerätes in den exspirationsweg, 22 sec., nach konstanter Einstellung während Ruhebedingungen 7 sec. Sie wurde bei der Auswertung in Rechnung gestellt. Aus dem Atemzeitvolumen und der mittleren Differenz zwischen exspiratorischem O_2-Gehalt und atmosphärischer Luft ergab sich die O_2-Aufnahme pro Zeiteinheit.

D. Exspiratorischer CO_2-Gehalt (Vol.-%).

Vor jedem Versuch wurde eine Eichung zwischen 1 und 7 Vol.-% in Schritten von 1 Vol.-% durchgeführt. Wie schon für die O_2-Werte beschrieben, wurden die exspiratorischen CO_2-Werte pro Minute in der Ruheminute, der Kontraktionsphase und der ersten Erholungsminute für jeden einzelnen Atemzug gemessen und dann der Mittelwert gebildet. In den folgenden Erholungsminuten wurden der maximale, minimale und mittlere Wert gemessen und daraus das Mittel berechnet. Die Latenzzeit des URAS mit Schlauchverbindung betrug zu Versuchsbeginn, d.h. bei Einschaltung des Gerätes, 4 sec. und nach konstanter Einstellung während Ruhebedingungen 2 sec. Aus dem Atemzeitvolumen und dem exspiratorischen CO_2-Gehalt ergab sich die CO_2-Ausscheidung pro Zeiteinheit.

E. Herzfrequenz.

Die Herzfrequenz wurde aus den RR-Distanzen/20 sec. berechnet.

F. Atemgrössen.

$\dot{V}_i$, V und f ergaben sich aus den registrierten inspiratorischen Gasuhrwerten.

Alle Respirationsgrössen wurden auf BTPS - bzw. STPD - Bedingungen umgerechnet.

Die Signifikanzen wurden in üblicher Weise nach der Methode von Student-Fisher, die Standardabweichungen (s) nach der Formel $s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (x - \bar{x})^2}$ berechnet (44).

(D) Ergebnisse.

1) Unter nicht motivierten Bedingungen betrug die maximale Muskelkraft im Mittel 27,6 kp (s = 10,6), unter motivierten 45,6 kp (s = 14,4). Unter Motivationsbedingungen stieg also die Kraft im Mittel um 65,3 % an. Der Unterschied zwischen diesen beiden Bedingungen war mit einem P von $< 0{,}0005$ hoch signifikant.

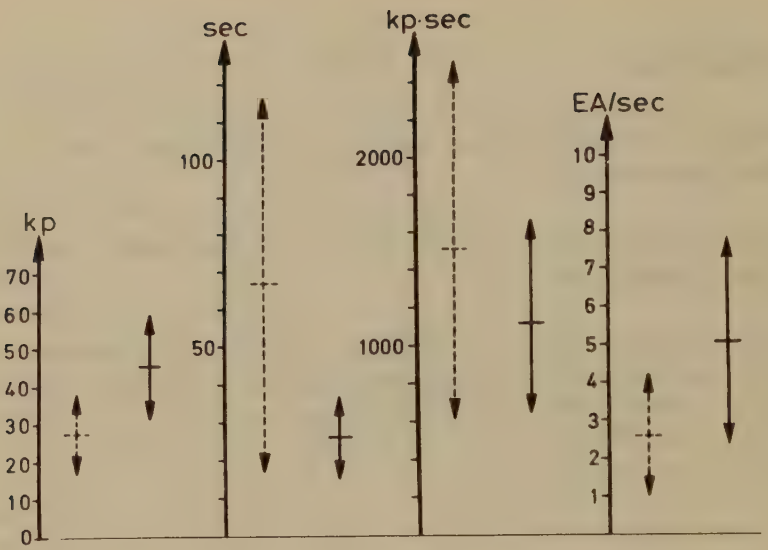

Abb. 2: Die Veränderungen der Kraft (kp), der statischen Ausdauer (sec.), des Kraftzeitproduktes (kp x sec.) und der elektrischen Aktivität (EA/sec.) im unmotivierten (<--|-->) und motivierten (<—|—>) Zustand. Der Mittelwert ist als Abszissenparallele, die Standardabweichung durch Pfeilspitze angegeben.

2) Die statische Ausdauer verhielt sich umgekehrt im Vergleich zur Kraft und betrug im unmotivierten Zustand 67 sec., im motivierten 26 sec. ($s = 50{,}5$ bzw. $10{,}7$). Auch in diesem Fall bestand mit einem P von $< 0{,}0005$ ein hochsignifikanter Unterschied (Abb. 2).

3) Das Kraft-$Z_e$it-Produkt (Halteleistung) unterschied sich nur mit einem P von $< 0{,}025$ und sank unter Motivationsbedingungen gering, d.h. um 11 % ab (Abb. 2).

4) Die elektrische Aktivität betrug ohne Motivation bei maximaler Kontraktion 2,5 cm/sec. (s = 1,6) und stieg bei Motivation auf 5,1 cm/sec. (s = 2,7), d.h. im Mittel um 104 % an. Beide Werte unterschieden sich mit einem P von < 0,005 (Abb. 2).

5) Die Herzfrequenz betrug unter Ruhebedingungen 83/min. bzw. 86/min. (s = 14) und unterschied sich damit praktisch nicht. In der Kontraktionsphase stieg die Herzfrequenz ohne Motivation auf einen Maximalwert von 128/min. (s = 23), mit Motivation auf 151/min. (s = 29). Beide Werte unterschieden sich mit einem P von < 0,005. In der Erholungsphase war die Herzfrequenz im unmotivierten Zustand bereits nach 20 sec. auf 103/min., im motivierten auf 121/min. abgesunken, Jedoch besteht zwischen beiden Werten noch ein hoch signifikanter Unterschied mit einem P von < 0,005. Bereits 40 sec. nach dem Kontraktionsende bestand zwischen beiden Werten kein sicherer signifikanter Unterschied mehr, und in der dritten Minute der Erholungsphase waren in beiden Fällen die Ruhewerte wieder erreicht (Abb. 3).

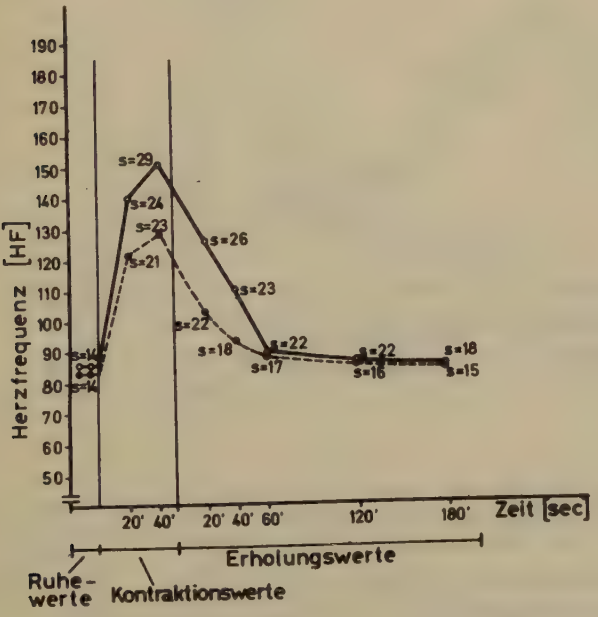

Abb.3: Der Verlauf der Herzfrequenz in der Ruhe-, Kontraktions- und Erholungsphase im nichtmotivierten (•---•---•) und motivierten Zustand (•—•—•—•).
Alle Momentanwerte sind auf 1 min. umgerechnet.

6) Das Atemzeitvolumen unterschied sich in beiden Versuchsserien unter Ruhebedingungen praktisch nicht (10, 3 l; s = 2,09 bzw. 10,4 l; s = 2,3). Während der maximalen Muskelkontraktion stieg es ohne Motivation auf 16,4 l (s = 5,8), mit Motivation auf 13,9 l (s = 9,18), jedoch unterschieden sich diese beiden Werte statistisch nicht ($P < 0,15$). In der ersten Erholungsminute überstieg das Atemzeitvolumen im motivierten Zustand (21,1 l; s = 5,8), das im unmotivierten (18,8 l; s = 4,4) mit einem P von $< 0,05$. In den folgenden Minuten der Erholungsphase ergaben sich keine sicheren Unterschiede mehr. Der Ruhewert wurde in der 5. Erholungsminute praktisch wieder erreicht (Abb. 4).

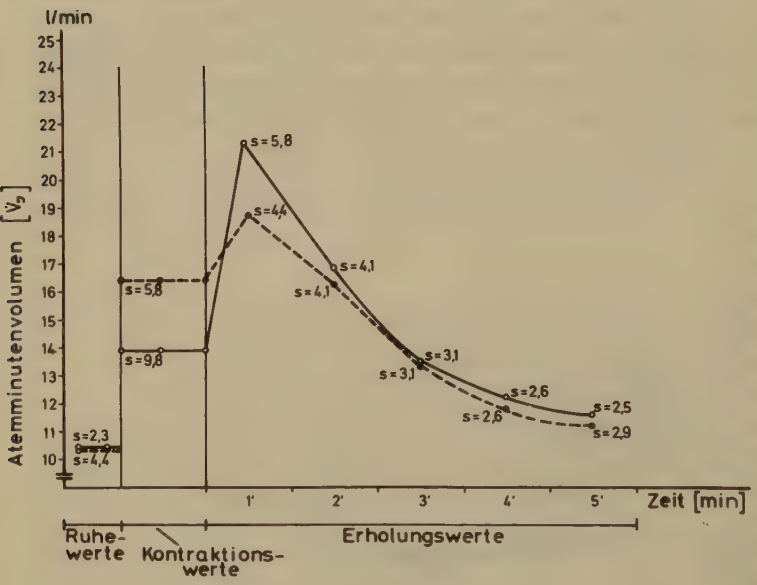

Abb. 4: Der Verlauf des Atemzeitvolumens in der Ruhe-, Kontraktions- und Erholungsphase im nichtmotivierten (•---•---•) und motivierten Zustand (•——•——•).

7) Die Ruhewerte der O_2-Aufnahme unterschieden sich praktisch nicht (438 ml/min.; s = 0,072 bzw. 452 ml/min.; s = 0,094). In der Kontraktionsphase stieg der O_2-Verbrauch nur geringgradig an (636 ml/min.; s = 0,17 unmotiviert, 567 ml/min.; s = 0,264 motiviert). Beide Werte unterschieden sich nur mit

einem P von < 0,20. In der ersten Minute der Erholungsphase erreicht die O_2-Aufnahme ihr Maximum mit 913 ml/min. (s = 0,25) im unmotivierten und 1040 ml/min. (s = 0,283) im motivierten Zustand. Auch hier konnte keine signifikante Differenz nachgewiesen werden. Auch in den folgenden Erholungsminuten trat kein wesentlicher Unterschied zwischen beiden Versuchsreihen mehr auf. Die Ruhewerte wurden in der 5. Erholungsminute erreicht (Abb. 5).

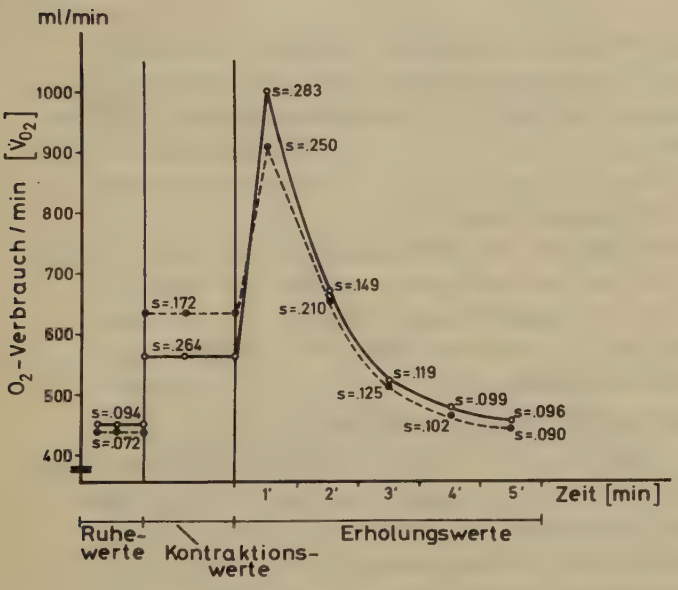

Abb. 5: Der Verlauf des $\dot{V}O_2$ (berechnet pro min.) in der Ruhe-, Kontraktions- und Erholungsphase in nicht-motiviertem (•---•---•) und motiviertem Zustand (o——o——o——o).

8) Wenn der Gesamt -O_2- Verbrauch über dem Ruhewert für die maximale Kontraktion im motivierten und nicht motivierten Zustand berechnet wird (d.h. O_2 - Verbrauch während der Kontraktion und O_2- Schuld), so ergeben sich Werte von 992 ml bzw. 996 ml, die sich nicht deutlich unterscheiden.

9) Die CO_2- Ausscheidung wurde in dieser Untersuchung lediglich zur Berechnung des RQ verwendet und wird deshalb nicht im einzelnen dargestellt.

10) Unter Ruhebedingungen konnte in beiden Versuchsreihen ein mittlerer RQ-Wert von 0,90 (s = 0,06 bzw. 0,07) errechnet werden. Während der Kontraktionsphase stieg der RQ ohne Motivation auf 0,93 (s = 0,14), motiviert fiel er auf 0,85 (s = 0,21) ab, jedoch bestand keine signifikante Differenz ($P < 0,15$).
In der ersten Minute der Erholungsphase veränderte sich der RQ in beiden Versuchsgruppen praktisch nicht, jedoch war nun ein signifikanter Unterschied zwischen motivierten und nicht motivierten Versuchspersonen von $P < 0,05$ nachzuweisen.

In der zweiten Erholungsminute erreicht der RQ 1,09 (s = 0,12) bzw. 1,06 (s = 0,14) und sinkt bis zur 4. Erholungsminute in beiden Gruppen geringgradig und ohne deutlichen Unterschied ab. In der 5. Erholungsminute betrug der RQ ohne Motivation 0,93 (s = 0,08), mit Motivation 0,99 (s = 0,12). Diese Werte unterscheiden sich mit einem $P < 0,05$. Erst in der 7. Erholungsminute ist beim motivierten Versuch ein RQ von 0,92 und damit praktisch der Ruhewert erreicht (Abb. 6).

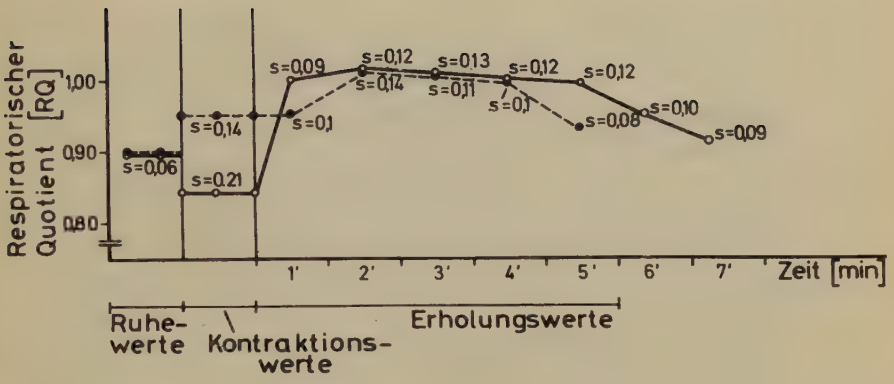

Abb. 6: Der Verlauf des RQ in der Ruhe-, Kontraktions- und Erholungsphase in nicht motiviertem (•---•---•) und motiviertem Zustand (•——o——o).

(E) Besprechung der Ergebnisse.

Die maximale Kraft unserer männlichen Versuchspersonen war im unmotivierten Zustand etwa 40 % kleiner als im motivierten (motiviert = 100 %). Sie entspricht damit der maximalen Kraft eines grösseren Kollektivs weiblicher Versuchspersonen (1). Die Kraftmessungen erfolgten in diesem weiblichen Kollektiv kompetitiv. Nach Angaben von HETTINGER (34) ist die Kraft weiblicher Versuchspersonen etwa 30 % kleiner als die männlicher. Aus dem Unterschied der maximalen Kräfte wird das Ausmaß der Motivation ersichtlich. Die von HETTINGER (34) für den M. quadriceps femoris angegebene maximale Kraft von 45 kp ist praktisch mit unseren Werten identisch. In neueren Untersuchungen wird die maximale Kraft der Unterschenkelstrecker mit 50,6 kp angegeben (45). Bei diesen Untersuchungen handelt es sich allerdings ausschliesslich um Sportstudenten, so dass die angegebene Kraft mit der eines nicht selektierten Kollektivs nicht vergleichbar ist.

Die Standardabweichung für die maximale Kraft soll im Mittel $\pm$ 4 %, die maximale Standardabweichung $\pm$ 8,5 % betragen (43). In diesen Grenzen sollen alle Fehler der Messung wie technische Mängel, unterschiedliche Disposition und Motivation liegen. Die Unterschiede der Maximalkräfte im nicht motivierten und motivierten Zustand sind in unseren Untersuchungen dagegen sehr viel grösser. Es erscheint daher nicht zulässig und bei gutachtlichen Untersuchungen sogar gefährlich, die von ROHMERT (43) angegebenen Standardabweichungen zu Grunde zu legen, zumal die Standardabweichung für die maximale Kraft im nicht motivierten Zustand etwa doppelt so gross ist wie im motivierten. Ähnliche Kraftsteigerungen wurden in Hypnose und im posthypnotischen Zustand beobachtet (29, 30), während eine erhebliche Kraftabnahme nach scheinbarer Blutabnahme gefunden wurde (31). Selbst Adrenalin- und Amphetamin-Gaben sollen zu einer Zu-

nahme der maximalen Kraft führen (29). IKAI und STEINHAUS führen diese Kraftsteigerung auf die Verminderung oder den Wegfall zentraler Hemmungen zurück.

Die maximale statische Ausdauer war in unseren Untersuchungen unter Motivationsbedingungen etwa 300 % grösser als von ROHMERT (46) als maximal möglich angegeben. Die Differenz könnte sich daraus ergeben, dass ROHMERT ganz vorwiegend seine Untersuchungen an Armbeugern, -streckern und -rotatoren durchgeführt hat und der M. quadriceps femoris als wesentlicher Antigravitationsmuskel ohnehin schon über eine grössere statische Ausdauer verfügt. Dafür könnte sprechen, dass bei Messungen der maximalen Kraft des Quadriceps femoris an weiblichen Probanden Haltezeiten gleicher Grösse gefunden wurden (47). Der extreme Unterschied in den Haltezeiten könnte somit sowohl durch die Messung an Muskeln mit unterschiedlicher Funktion als auch durch unterschiedliche Motivationsgrade bedingt sein. Während die Standardabweichung im unmotivierten Zustand 50,5 sec. betrug, verminderte sie sich im motivierten auf 10,7 sec. Daraus folgt, dass die indirekte Bestimmung der Haltekraft (43) in Prozent der Maximalkraft aus der statischen Ausdauer nicht einmal für die praktische arbeitsmedizinische Begutachtung ausreicht.

Die Herzfrequenz stieg im unmotivierten Zustand, ohne einen Steady State zu durchlaufen, auf einen Endwert von 128 am Ende der Kontraktion an. LIND und McNICOL (48) konnten hinsichtlich der Herzfrequenz ein Steady State erst bei 10 % der maximalen Kraft beobachten. Bei 50 % der maximalen Kraft erreichte die Herzfrequenz einen Endwert von 130 pro Minute und entsprach damit etwa der Herzfrequenz, die wir im unmotivierten Zustand beobachten konnten. Unter Motivationsbedingungen steigt die Herzfrequenz während der ersten 10 sec. der Kontraktion auf 119 pro Minute an und erreicht einen Endwert von 151 pro Minute. Nach STOBOY und Mitarbeitern (42) beträgt die Herzfrequenz bei einer 10 Sekunden dauernden maximalen Kontraktion des M. biceps brachii 113 pro Minute, sie erreicht also etwa die gleiche Grössenordnung. In der

Erholungsphase ist die Ruhepulsfrequenz bei einer Kontraktion mit 50 % der maximalen Kraft nach 1 Minute wieder erreicht (48). In unseren Untersuchungen ist im motivierten Zustand die Herzfrequenz nach 20 sec. Erholung noch signikant höher als im unmotivierten. Nach 40 sec. sind beide Herzfrequenzen etwa gleich gross. Der Ausgangswert wird allerdings erst nach 3 Minuten wieder eingestellt.

Bei maximalen dynamischen Arbeiten beträgt die Herzfrequenz etwa 160 bis 200pro Minute (37) bzw. 200 bis 250 pro Minute (49). Diese Herzfrequenz wird bei maximalen statischen Kontraktionen nicht erreicht. Der Grund hierfür könnte in einer Drosselung der Durchblutung während der Kontraktion zu finden sein. Die Grösse der Herzfrequenz soll vorwiegend durch periphere PCO_2-Rezeptoren eingestellt werden (50). Kontraktionen mit den längsten individuellen Haltezeiten von ca. 40 sec. können theoretisch ihre Energie vollständig aus den anaeroben Energiequellen decken und deshalb mit keiner oder einer verminderten CO_2-Bildung durchgeführt werden. Aus diesem Grunde könnte die maximale Herzfrequenz gegenüber dynamischer Arbeit vermindert sein. Da Versuche, in denen die Herzfrequenz in Abhängigkeit von der kontrahierten Muskelmasse untersucht wird, noch ausstehen, kann auch die Grösse der kontrahierten Muskelmasse ausschlaggebend für die Herzfrequenz sein. Diese Auffassung wird dadurch unterstützt, dass nach JOSENHANS eine direkte Beziehung zwischen der Herzfrequenz und der Grösse der Kontraktionskraft besteht (41). Bei maximaler Kontraktion unter Motivationsbedingungen kommt es zumindest zu partiellen Atemstillständen, die als Valsalva-Versuch aufgefasst werden können. Eine zusätzliche Steigerung der Herzfrequenz hierdurch ist auszuschliessen, da Atemanhalteversuche zu keiner wesentlichen Änderung der Herzfrequenz geführt haben (51). Eine Erholungsdauer von 3 Minuten würde im Vergleich mit dynamischer Arbeit einer Leistung von 1/2 Watt bis 1 Watt pro kg für die Dauer von 6 Minuten entsprechen (49).

Das Atemminutenvolumen ist während der Kontraktion unter Motivationsbedingungen 2,5 l kleiner als ohne Motivation. In der ersten Erholungsminute ist es jedoch unter Motivationsbedingungen 2,4 l grösser als ohne Motivation. Dieser Unterschied ergibt sich daraus, dass mit Motivation der partielle Valsalva ausgeprägter ist, d.h. der Atemstillstand länger andauert. Im Mittel ergeben sich Werte wie bei einer dynamischen Leistung von etwa 1 Watt pro kg Körpergewicht (52). Aus dem gleichen Grund ist auch die Sauerstoffaufnahme pro Minute in der Kontraktionsphase im unmotivierten Zustand 69 ml höher als unter Motivationsbedingungen. In der Erholungsphase kehrt sich dieses Verhältnis um. Der Motivierte verbraucht 127 ml Sauerstoff pro Minute mehr als der Unmotivierte. Der Gesamtsauerstoffverbrauch für die Kontraktion ist im motivierten und unmotivierten Zustand nahezu gleich. Das ist verständlich, da sich beide Kraft-Zeit-Produkte nicht erheblich unterscheiden. Bei 50 % der maximalen Kraft gibt JOSENHANS (41) einen Sauerstoffverbrauch von ca. 20 ml pro sec. an. Dieser Wert entspricht grössenordnungsmässig dem Sauerstoffverbrauch unserer Probanden im unmotivierten Zustand, d.h. bei etwa 60 % der maximalen Kraft werden 16 ml pro sec. aufgenommen. Im motivierten Versuch steigt die Sauerstoffaufnahme auf 38 ml pro sec., d.h. um mehr als das Doppelte, obgleich der Kraftunterschied nur 40 % beträgt. Der Unterschied könnte auf eine grössere Beanspruchung anaerober Stoffwechselanteile unter Motivationsbedingungen zurückzuführen sein. Umgerechnet auf 1 Minute würde die Sauerstoffaufnahme 2,280 l betragen. Diese Sauerstoffaufnahme entspräche einem Wert bei dynamischer Steady-State-Arbeit von 150 - 180 Watt (53). Die Sauerstoffaufnahme unter statischen und dynamischen Arbeitsbedingungen ist praktisch jedoch nicht miteinander vergleichbar, da bei maximaler statischer Kontraktion niemals ein Steady State erreicht wird.

Der respiratorische Quotient verhält sich während der Kontraktionsphase unterschiedlich. Im nicht motivierten Versuch steigt er von 0,90auf 0,93, im motivierten sinkt

er von 0,90 auf 0,85. Da die Atemstillstände bei den einzelnen Versuchspersonen individuell beträchtlich schwanken, ist die Standardabweichung während der Kontraktionsphase im motivierten und nicht motivierten Versuch so gross, dass beide Werte nicht signifikant voneinander verschieden sind. Infolgedessen kann auch nichts Sicheres über die Ursachen dieses unterschiedlichen Verhaltens ausgesagt werden. In der 2. und 3. Erholungsminute überschreitet in beiden Versuchsgruppen der RQ den Wert 1,0. Dieses Verhalten ist regelmässig auch nach dynamischer Leistung zu beobachten. Es ist dadurch bedingt, dass die CO_2-Ausscheidung gegenüber der Sauerstoffaufnahme vergrössert ist. Dieser Anstieg des RQ in der Erholungsphase über 1,0 wird dadurch erklärt, dass die Laktatbildung am Ende eines Arbeitsversuches stark zunimmt und damit CO_2 aus den Puffern freigesetzt und vermehrt ausgeschieden wird (54).

Der gesamte über den Ruhewert hinausgehende Energieverbrauch, d.h. während der Kontraktion und der Erholungsphase, unterscheidet sich im nicht-motivierten und motivierten Versuch praktisch nicht und beträgt im Mittel 4,70 Cal. Umgerechnet auf 1 Minute ergäbe das eine Energieausgabe von 0,90 Cal. Unter dynamischen Bedingungen wird dieser Wert bei leichter Ein-Arm-Arbeit erreicht (55). Obgleich maximale statische Armarbeit ausserordentlich anstrengend und schnell ermüdend ist, ist die maximale Energieausgabe bei Kontraktion einer Muskelgruppe sehr klein.

Zwischen elektrischer Aktivität und der vom Muskel entwickelten Kraft besteht wahrscheinlich ein linearer Zusammenhang (56, 57, 58). Diese Aktivitätszunahme ist mit grosser Wahrscheinlichkeit auf eine Rekrutierung gleichzeitig erregter motorischer Einheiten zu beziehen (59). Wie bei der Berechnung des Gesamt-O_2-Verbrauchs pro sec. ist auch die elektrische Aktivität bei einem Kraftunterschied von 40 % um etwas mehr als das Doppelte grösser als im unmotivierten Zustand und könnte somit gleichfalls auf eine anaerobe Energiegewinnung hinweisen.

(F) Zusammenfassung.

An 26 gesunden männlichen nicht selektierten Probanden wurde unter nicht motivierten Bedingungen und im motivierten Zustand die Kraft des rechten M. quadriceps femoris gemessen. Synchron wurden in einer vorausgehenden Ruhepause, während der Kontraktion und in einer Erholungsphase folgende Grössen registriert:

1. die Herzfrequenz, 2. das Atemzeitvolumen, 3. die exspiratorische O_2-Konzentration, 4. die exspiratorische CO_2-Konzentration.

Während der Kontraktionsphase wurden zusätzlich die Kraft und die integrierte elektrische Aktivität registriert.

Im unmotivierten Zustand war die Kraft um 40 % kleiner als im motivierten (motiviert = 100 %). Dieser Kraftunterschied ist weitaus grösser als die von ROHMERT (43) angegebene Standardabweichung von $\pm$ 8,5 %. Deshalb erscheint es fragwürdig, diese Standardabweichung bei gutachtlichen Untersuchungen zugrunde zu legen. Die statische Ausdauer war unter Motivationsbedingungen 300 % grösser als von ROHMERT (46) angegeben. Der Unterschied wird auf die Untersuchung funktionell andersartiger Muskelgruppen bzw. auf unterschiedliche Motivationsgrade zurückgeführt.
Die maximale Herzfrequenz erreicht nicht den Bereich der maximalen Herzfrequenz bei dynamischen Leistungen. Da keine Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen statisch kontrahierter Muskelmasse und Herzfrequenz bekannt sind, kann bisher die Herzfrequenz nicht als sicheres Kriterium für eine maximale Anstrengung betrachtet werden. Es wird versucht, die O_2-Aufnahme und die Energieausgabe bei maximaler statischer Kontraktion mit Werten bei dynamischer Leistung zu vergleichen.

(G) Literaturverzeichnis.

1. STOBOY, H., FRIEDEBOLD, G. u. F.L. STRAND:
Evaluation of the Effect of Isometric Training in Functional and Organic Muscle Atrophy
Arch.phys.Med. 49, 508 (1968)

2. KLEIN, K. K.: Specific P.R.E. for Increasing Medial-Lateral Ligament Stability of the Knee and the Use of the Ligament Testing Instrument for Test-Retest Measurement
J.Ass.phys.ment.Rehab. 18, 135 (1964)

3. BENDER, J. A. u. H. M. KAPLAN:
The effectiveness of isometric exercises in physical rehabilitation: A Hospital Study.
J.Ass.phys.ment.Rehab. 16, 174 (1962)

4. MÜLLER, E. A. u. Th. HETTINGER:
Über Unterschiede der Trainingsgeschwindigkeit atrophischer und normaler Muskeln.
Arbeitsphysiologie 15, 223 (1953)

5. MÜLLER, E. A. u. W. ROHMERT:
Die Geschwindigkeit der Muskelkraftzunahme bei isometrischem Training.
Int.Z.angew.Physiol.einschl.Arbeitsphysiol. 19, 403 (1963)

6. HETTINGER, Th.: Muskelkraft und Muskeltraining bei Frauen und Männern.
Arbeitsphysiologie 15, 201 (1953)

7. HETTINGER, Th.: Der Einfluss der Muskeldurchblutung beim Muskeltraining auf den Trainingserfolg.
Int.Z.angew.Physiol.einschl.Arbeitsphysiol. 16, 95 (1955)

8. HETTINGER, Th.: Untersuchungen zur Bestimmung der Muskel-Atrophieschwelle.
Int.Z.angew.Physiol.einschl.Arbeitsphysiol. 16, 52 (1955)

9. HETTINGER, Th.: Die Trainierbarkeit menschlicher Muskeln in Abhängigkeit vom Alter und Geschlecht.
Int.Z.angew.Physiol.einschl.Arbeitsphysiol. 17, 371 (1958)

10. RARICK, G.L. u. G.L. LARSON:
Observations on Frequency and Intensity of Isometric Muscular Effort in Developing Static Muscular Strength in Post-Pubescent Males.
Res.Quart.Amer.Ass.Hlth.phys.Educ. 29, 333 (1958)

11. WOLBERS, Ch. u. F.S. SILLS:
Development of Strength in High School Boys by Static Muscular Contractions.
Res.Quart.Amer.Ass.Hlth.phys.Educ. 27, 446 (1956)

12. LEACH, R.E., STRYKER, C.W.S. u. D.A. ZÖHN:
A comparative study of isometric and isotonic quadriceps exercise programs.
J.Bone Jt. Surg. 47, 1421 (1965)

13. FRIEDEBOLD, G., NÜSSGEN, W. u. H. STOBOY:
Die Veränderungen der elektrischen Aktivität der Skeletmuskulatur unter den Bedingungen eines isometrischen Trainings.
Z.ges.exper.Med. 129, 4011 (1957)

14. ROHMERT, W.: Die Armkräfte des Menschen im Stehen bei verschiedener Körperstellung.
Int.Z.angew.Physiol.einschl.Arbeitsphysiol. 18, 175 (1960)

15. SCHERRER, J., BOURGUIGNON u. H. MONOD:
La fatigue dans le travail statique.
Rev.Path.gen. 60, 357 (1960)

16. JOSENHANS, W.K.T.:
An evaluation of some methods of improving muscle strength.
Rev.canad.biol. 21, 315 (1962)

17. HOWELL, M.L. u. R.B. ALDERMANN:
Psychological Determinants of Fitness
Canad.med.Ass.J. 96, 721 (1967)

18. BARCROFT, H. u. J.L.E. MILLEN:
The blood flow through muscle during sustained contraction.
J.Physiol., 97, 17 (1939)

19. GRANT, R. T.: Observations on the blood circulation in voluntary muscle in man.
Clin.Sci. 3, 157 (1938)

20. HUMPHREYS, P.W. u. A.R. LIND:
The blood flow through the forearm during hand-grip contractions at different tensions and muscle temperatures.
J.Physiol. 161, 53 (1962)

21. HUMPHREYS, P.W. u. A.R. LIND:
Blood flow through active muscles of the forearm during sustained hand-grip contractions.
J.Physiol. 163, 18 (1962)

22. GRAY, S.D., CARLSSON, E. u. N.C. STAUB:
Site of increased vascular resistance during isometric muscle contraction.
Am.J.Physiol. 213, 683 (1967)

23. GRAY, S.D. u. N.C. STAUB:
Resistance to blood flow in leg muscles of dog during tetanic contraction.
Am.J.Physiol. 213, 677 (1967)

24. NILSSON, B. u. D.H. INGVAR:
Intramuscular Pressure and Contractile Strength Related to Muscle Blood Flow in Man.
Scand.J.Clin.Lab.Invest. 93, 31 (1966)

25. GRANDJEAN, E.: Die zentrale Ermüdung.
In BAADER, E.W.: Handbuch der gesamten Arbeitsmedizin, Band I,442-4
Urban & Schwarzenberg Verlag 1961

26. MOREHOUSE, L.E. u. A.T. MILLER:
Physiology of exercise.
Mosby & Co.,St.Louis 1948

27. CALDWELL, L.S. u. R.P. SMITH:
Pain and Endurance of Isometric Muscle Contractions.
J.Engin.Psychol. 5, 25 (1966)

28. RODBARD, S. u. E.B. PRAGAY:
Contraction frequency, blood supply, and muscle pain.
J.appl.Physiol. 24, 142 (1968)

29. IKAI, M. u. A.H. STEINHAUS:
Some factors modifying the expression of human strength.
J. appl. Physiol. 16, 157 (1961)

30. ROUSH, E.S.: Strength and Endurance in the Waking and Hypnotic States.
J.appl. Physiol. 3, 404 (1951)

31. HOWELL, M.L. and K. COUPE:
Effect of Blood Loss upon Performance in the Balke-Ware Treadmill Test.
Res.Quart.Amer.Ass.Hlth.phys.Educ. 35, 156 (1964)

32. HELLEBRANDT, F.A. u. J.C. WATERLAND:
The Influence of Unimanual Exercise on Related Muscle Groups of the Same and the Opposite Site.
Am.J.phys.Med. 41, 45 (1962)

33. WILMORE, J.H.: Influence of motivation on physical work capacity and performance
J.appl.Physiol. 24, 459 (1968)

34. HETTINGER, Th.: Isometrisches Muskeltraining
Georg Thieme Verlag Stuttgart 1968

35. ROSKAM, H., KÖNIG, K. u. H.REINDELL:
Normalwerte in der Ergometrie.
1. Int.Seminar für Ergometrie
Institut für Leistungsmedizin, Berlin 1965

36. SKRANC, O. u. V. HAVEL:
Die O_2-Schuld während und nach dosierter Leistung.
1. Int. Seminar für Ergometrie (82-92)
Institut für Leistungsmedizin, Berlin 1965

37. WEIDENER, J.: Die Herz schlagfrequenz bei ergometrischer Leistung.
1. Int. Seminar für Ergometrie (107-114)
Institut für Leistungsmedizin, Berlin 1965

38. DRANSFELD, B.: O_2-Aufnahme und O_2-Puls bei ergometrischer Leistung.
1. Int. Seminar für Ergometrie (123-137)
Institut für Leistungsmedizin, Berlin 1965

39. HOLLMANN, W.: Kriterien der körperlichen, kardialen und pulmonalen Leistungsgrenzen.
1. Int. Seminar für Ergometrie (186-197)
Institut für Leistungsmedizin, Berlin 1965

40. HANSEN, G.: Atemzeitvolumen und Atemäquivalent bei ergometrischer Leistung.
1. Int. Seminar für Ergometrie (203-208)
Institut für Leistungsmedizin, Berlin 1965

41. JOSENHANS, W.T.: Muscular Factors.
Canad.med.Ass.J. 96, 761 (1967)

42. STOBOY, H., TRAINOR, F., WILSON-RICH, B. u. M. DACSO:
Muscle Strength and Electrical Activity, Heart Rate and Energy Cost during Isometric Contractions in disabled and non-disabled.
Physiologist 10, 315 (1967)

43. ROHMERT, W.: Erhaltung und Erhöhung der Muskelkraft.
Med.Sachverst. 60, 25 (1964)

44. STUDENT-FISHER: In: Documenta Geigy 6, 1960
Basel: J.R. Geigy A.G.

45. HETTINGER, Th. u. W. HOLLMANN:
Dynamometrische Messungen an Muskeln.
Sportarzt und Sportmedizin 20, 18 (1969)

46. ROHMERT, W.: Ermittlung von Erholungspausen für statische Arbeit des Menschen.
Int.Z.angew.Physiol.einschl.Arbeitsphysiol. 18, 123 (1960)

47. STOBOY, H. u. G. FRIEDEBOLD:
Chances in Muscle Function in atrophied Muscles due to Isometric Training.
Bull.N.Y.Acad.Med. 44, 554 (1968)

48. LIND, A.R. u. G.W. McNICOL:
Muscular Factors which Determine the Cardiovascular Response to sustained and rhythmic Exercise.
Canad.med.Ass.J. 96, 706 (1967)

49. MELLEROWICZ, H.: Die Herzschlagfrequenz bei ergometrischer Leistung (51 - 67).
In: Ergometrie
Urban & Schwarzenberg Verlag
München - Berlin 1962

50. STEGEMANN, J.: Zum Mechanismus der Pulsfrequenzeinstellung durch den Stoffwechsel. IV. Zur Frage der Lokalisation der stoffwechselempfindlichen Muskelrezeptoren.
Pflügers Arch.ges.Physiol. 276, 511 (1963)

51. RAPER, A.J., RICHARDSON, D.W., KONTOS, H.A. u. J.L. PATTERSON jr.:
Circulatory responses to breath holding in man.
J.appl.Physiol. 22, 201 (1967)

52. MELLEROWICZ, H.: Atemzeitvolumen bei ergometrischer Leistung (157 - 177)
In: Ergometrie
Urban & Schwarzenberg Berlag
München- Berlin 1962

53. MELLEROWICZ, H.: Die O_2-Aufnahme bei ergometrischer Leistung (125 - 155)
In: Ergometrie.
Urban & Schwarzenberg Verlag
München - Berlin 1962

54. NOWACKI, P.: Die Bedeutung des Ventilations-RQ bei ergometrischer Leistung.

1. Int. Seminar für Ergometrie (92 - 97) Institut für Leistungsmedizin, Berlin 1965

55. SPITZER - HETTINGER:

Tafeln für den Kalorienumsatz bei körperlicher Arbeit.

Sonderheft der REFA-Nachrichten

Verband für Arbeitsstudien REFA e.V. Darmstadt 1958

56. SOMMER, J.: Der Innervationsaufwand des menschlichen Muskels.

Z.Biol. 100, 97 (1940)

57. LIPPOLD, O.C.J.:

The Relation Between Integrated Action Potentials In A Human Muscle And Its Isometric Tension.

J.Physiol. 117, 492 (1952)

58. BIGLAND, B. u. O.C.J. LIPPOLD:

The Relation Between Force, Velocity And Integrated Electical Activity In Human Muscles.

J.Physiol. 123, 214 (1954)

59. STOBOY, H., NÜSSGEN,W. u. G. FRIEDEBOLD:

Das Verhalten der motorischen Einheiten unter den Bedingungen eines isometrischen Trainings.

Int.Z.angew.Physiol.einschl. Arbeitsphysiol. 17, 391 (1959)

Herrn Professor Dr. med. S t o b o y danke ich für die Zuweisung des Themas und für die freundliche Hilfsbereitschaft bei der Durchführung der Arbeit.

Lothar Röcker

1 Berlin 47,
Braunlager Str. 24

Lebenslauf

Name:	Lothar R ö c k e r
geboren:	20. Dezember 1940
Staatsangehörigkeit:	deutsch
Schulbildung:	8 Jahre Grundschule (1947 - 1955) 5 Jahre Oberschule (1955 - 1961)
Studienzeit:	Studium der Medizin an der FU - Berlin von 1961 - 1967
Staatsexamen:	16. September 1967
Medizinal-assistenzeit:	01.11.1967 - 28.02.1968 Chirugische Abteilung im Städtischen Krankenhaus Berlin Spandau 01.04.1968 - 28.02.1969 Physiologisches Institut der FU - Berlin 01.03.1969 - 31.07.1969 Innere Abteilung des Behring - Krankenhauses - Berlin - Zehlendorf ab 01.08.1969 Städtische Frauenklinik am Mariendorfer Weg